Aus dem Institut für Anaesthesiologie
der Medizinischen Einrichtungen
der Universität Düsseldorf
(Direktor: Professor Dr. M. Zindler)

Enflurane-Verbrauch im geschlossenen System mit 1 l Frischgaszufuhr (Low-Flow)

DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

Der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

GERHARD MERTEN

1982

UNIV.
LEIDEN
NED.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535714_0136

Aus dem Institut für Anaesthesiologie
der Medizinischen Einrichtungen
der Universität Düsseldorf
(Direktor: Professor Dr. M. Zindler)

Enflurane-Verbrauch im geschlossenen System mit 1 l Frischgaszufuhr (Low-Flow)

DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

Der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

GERHARD MERTEN

1982

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

gez.: Prof. Dr. G. Arnold

Referent:

gez.: Prof. Dr. M. Zindler

Korreferent:

gez.: Prof. Dr. B. Ulrich

1. ZUSAMMENFASSUNG S. 4

2. EINLEITUNG S. 6

3. MATERIAL UND METHODIK S. 8

3.1 Patientengut
3.2 Methodik
3.2.1 Geräte
3.2.2 Narkose
3.2.3 Dokumentation

4. ERGEBNISSE S. 14

5. DISKUSSION S. 27

6. LITERATURVERZEICHNIS S. 36

1. ZUSAMMENFASSUNG

Der Enflurane-Verbrauch wurde bei einer Frischgaszufuhr von 6 l/min, 3 l/min und 1 l/min unter klinischen Bedingungen bei insgesamt 5o weiblichen Patienten gemessen und die reale Kosteneinsparung berechnet.

Nach konventioneller Narkoseeinleitung für 5 min im High-Flow-System (6 l/min) wurden die Narkosen mit einer Frischgaszufuhr von 6 l/min (2 l O_2, 4 l N_2O) bei 12 Patienten, 3 l/min (1 l O_2, 2 l N_2O) bei 18 Patienten bzw. 1 l/min (o,5 l O_2, o,5 l N_2O) bei 2o Patienten fortgeführt. Die in- und endexspiratorischen Enflurane-Konzentrationen, die CO_2-Konzentrationen sowie die inspiratorischen O_2-Konzentrationen im Kreissystem wurden gemessen.

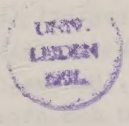
Der Verbrauch in Low-Flow-Technik (o,5 l O_2/min, o,5 l N_2O/min) lag bei ca. einem Drittel ($\bar{x}$ = 7,5 ml/h) der verbrauchten Enflurane-Menge der Frischgaszufuhr von 6 l/min ($\bar{x}$ = 23,6 ml/h) und ca. der Hälfte bei 3 l/min ($\bar{x}$ = 13,7 ml/h).

Das Low-Flow-System ist mit ca. 28 % der Kosten (O_2, N_2O und Enflurane) des halbgeschlossenen Systems (6 l/min) bzw. unter Berücksichtigung der Mehrkosten für Atemkalk mit ca. 36 % durchzuführen.

Narkosen im Low-Flow-System können auch ohne O_2-Monitor mit den handelsüblichen Narkosegeräten durchgeführt werden. Die O_2-Konzentrationen im Kreissystem sanken bei 62 Patienten nie unter 3o Vol %

und lagen im Mittel bei ca. 4o Vol %; die arteriellen Sauerstoffpartialdrucke p_aO_2 befanden sich im sicheren Bereich von 116 bis 237 mmHg.

Die Low-Flow-Technik führt durch den geringen Verbrauch an Narkotikum und Trägergasen zu einer enormen Ersparnis sowie zu einer verminderten Umweltbelastung am Arbeitsplatz; sie stellt somit eine wirtschaftlich vorteilhafte Methode dar.



2. EINLEITUNG

In Deutschland ist es üblich, Inhalationsnarkosen im halbgeschlossenen System durchzuführen. Dabei beträgt die Frischgaszufuhr häufig 6 l/min (2 l O_2, 4 l N_2O) oder auch 3 l/min (1 l O_2, 2 l N_2O).

In jüngster Zeit nun wird das geschlossene System wieder neu propagiert (Mostert et al 1977, Spieß 1977). Als Methoden gelten Low-Flow (o,5 l O_2/min, o,5 l N_2O/min), Minimalflow (3oo ml O_2/min, 2oo ml N_2O/min) und das streng geschlossene System, bei dem nur der jeweils aktuelle Bedarf an Sauerstoff und gasförmigen Anaesthetika zugeführt wird.

Ziel und Zweck der vorliegenden Untersuchung ist es, unter klinischen Bedingungen den tatsächlichen Verbrauch von Enflurane bei Low-Flow zu messen, um die Ersparnis gegenüber der High-Flow-Methode besser beurteilen zu können.

Obwohl der Preis für Enflurane gegenüber Halothan höher und der Verbrauch für eine chirurgische Analgesie - bei einer erforderlichen alveolären Konzentration von 1 Vol % (Gion et al 1971, de Jong et al 1975) - doppelt so hoch ist, wurde bei dieser Untersuchung Enflurane als volatiles Anaesthetikum gewählt, weil es aufgrund seiner günstigeren physiko-chemischen Eigenschaften gegenüber Halothan heute immer häufiger angewandt wird. Zudem findet sich bei der Benutzung von Halothan im geschlossenen System eine

Anhäufung von 2-bromo-2-chloro-1,1-difluoroethylene (CF_2CBrCL); im halbgeschlossenen System ist dieses toxische Stoffwechselprodukt nur in Spuren im Exspirationsgemisch vorhanden. Dieser Metabolit entsteht einerseits im intermediären Stoffwechsel und andererseits bei der Reaktion von Halothan mit dem feuchten und warmen Atemkalk (Sharp et al 1979).

Theoretisch ist im Low-Flow-System ein niedrigerer Verbrauch gegenüber der High-Flow-Methode zu erwarten, da die Frischgaszufuhr geringer ist; nach der Einleitungsphase ist, wie bei verschiedenen Literaturangaben zu entnehmen (Weaver et al 1955, Virtue 1974, Lin et al 1977), die Frischgaszufuhr von 500 ml/min Sauerstoff und 500 ml/min Stickoxydul oder weniger für die Dauer einer Narkose ausreichend.

Die Wirtschaftlichkeit des Low-Flow-Systems beweist ferner eine Untersuchung von Lin et al (1980); er schrieb, daß an der Universität von Chicago jährlich eine Senkung der Narkosekosten um mehrere tausend Dollar seit der Benutzung des geschlossenen Systems erzielt wurde. Ebenso berechnete Virtue (1979), daß 1000 Narkosestunden bei einer Frischgaszufuhr von 5 l/min (1,5 l O_2, 3,5 l N_2O) im Gegensatz zu einer Zufuhr von 0,5 l/min (300 ml O_2, 200 ml N_2O) 10 mal so teuer sind. Bekanntlich entstehen bei der High-Flow-Methode enorme Kosten durch den höheren Gasverbrauch, und die Absaugung der überschüssigen Narkosegase führt außerdem zu einer stärkeren Umweltbelastung.

3. MATERIAL UND METHODIK

3.1 Patientengut

Es wurden 5o weibliche Patienten im Alter von 21 bis 41 Jahren der ASA-Klassifizierung Gruppe I, bei denen eine gynäkologisch-mikroskopische Fertilisierungsoperation durchgeführt wurde, in die Messung aufgenommen. Die Einteilung erfolgte entsprechend der Frischgaszufuhr in drei Gruppen.

Die erste Gruppe von 12 Patienten wurde mit einer Frischgaszufuhr von 6 l/min (2 l O_2, 4 l N_2O) kontrolliert beatmet, die zweite Gruppe, bestehend aus 18 Patienten, mit einer Frischgaszufuhr von 3 l/min (1 l O_2, 2 l N_2O), die 2o Patienten der dritten Gruppe mit 1 l/min (o,5 l O_2, o,5 l N_2O).

3.2 Methodik

3.2.1 Geräte

Die Narkosen wurden mit dem Spiromat 656 Dräger, einem handelsüblichen Narkosegerät, durchgeführt. Dieses Gerät ist mit einem Volumeter, einem Druckmanometer mit Alarm (Precom) und dem neueren Vapor-typ 19 bestückt. Eine Dichtigkeitsprüfung der Herstellerfirma (Drägerwerk AG, Lübeck) ergab bei simulierter maschineller Beatmung ein Leck von weniger

als 1oo ml/min.

Folgende Zusatzgeräte wurden benutzt:

- OXYCOM 1oo D (Drägerwerk AG, Lübeck) ist ein Gerät für die Überwachung der Sauerstoffkonzentration im Kreissystem und hat bei Verwendung eines Kondensors eine Einstellverzögerung von 1oo sec. Das Meßprinzip beruht auf einer elektrochemischen Zelle.

- Anesthetic-gasanalyser R1-5oYM (RIKEN KEIKI) ist ein Anaesthesiegasanalysator zur kontinuierlichen Messung von Stickoxydul- (N_2O-) und Halothan-Konzentrationen. Die Meßmethode erfolgt mit einem wärmestabilisierten Selendetektor, einem nicht streuenden Infrarotstrahl und einer Meßkammer. Er besitzt besonders engbandige Interferenzfilter, um die charakteristischen Absorptionsspektren von N_2O zu analysieren. Die Probenflußrate liegt bei ca. 5oo ml/min, so daß die Probe bei niedriger Frischgaszufuhr mittels eines Rückleitungsschlauches dem Kreissystem wieder zugeführt werden muß. Der Meßfehler ist geringer als 5 % der Gesamtskala (Angabe der Herstellerfirma).

- Der DATEX CD 1o1 CO_2-Analyser (Engström Elektromedizin GmbH) mißt nach dem Prinzip der Infrarotabsorption den CO_2-Gehalt in Exspirationsgasen. Zur Analyse werden 4oo ml/min Probengas abgesaugt, die dem Kreissystem durch einen Rückführschlauch wieder zugeführt werden können. Die Gesamtansprechzeit beträgt o,o5 sec; die Genauigkeit liegt bei $\pm$ o,2 Vol % CO_2 (Angabe der Herstellerfirma).

- Mit dem Anesthetic-gas-monitor AG 1o1 (WTI, Niederlande) ist es möglich, inspiratorische und exspiratorische (alveoläre) Enflurane-Konzentrationen zu bestimmen. Das Meßprinzip beruht auf einem Wasserstofflammenionisationsdetektor. Der Probenstrom beträgt nur ca. 3 ml/min, weil der Innendurchmesser des Kapillartransportschlauches klein ist. Die Ansprechzeit beträgt ca. o,2 sec; der Meßfehler ist kleiner als 2 % vom Endausschlag. Die Kalibrierung erfolgt mit dem Anesthetic gascalibrator (WTI, Niederlande).

- EMMA-Multigasmonitor (Engström Elektromedizin GmbH) ist ein Gas-Analysator zur kontinuierlichen direkten (on-line) Messung von volatilen Anaesthetika (Enflurane, Halothan, Methoxyfluran und Isofluran). Der Transducer besitzt einen speziell beschichteten Quartzkristall, dessen Gewicht sich mit der Konzentration des jeweils gemessenen Anaesthesiegases verändert. Die Ansprechzeit beträgt ca. o,1 sec; die Genauigkeit liegt bei ca. o,1 Vol %. Eine Beeinflussung durch N_2O, O_2, CO_2 und durch Feuchtigkeit tritt nicht auf.

- Der Anesthetic-gasanalyser R1-5oYM, der DATEX CD 1o1 CO_2-Analyser und der Anesthetic-gas-monitor AG 1o1 waren mit einem 4-Kanalschreiber R511A (Beckmann, USA) verbunden, so daß eine fortlaufende Registrierung möglich war.

- Zum unblutigen Messen des Blutdrucks nach Riva Rocci diente eine Manschette und ein Stethoskop, zur Bestimmung der Herzfrequenz ein EKG-Monitor.

3.2.2 Narkose

Zur Praemedikation bekamen alle Patientinnen am Vorabend 1o mg Diazepam per os, am Morgen 25-5o mg Promethazin, 5o-1oo mg Pethidin und o,5 mg Atropin i.m..

Die Einleitung der Narkose wurde nach folgendem Schema durchgeführt:

- o,4-o,8 mg Pancuronium
- 3oo-5oo mg Hexobarbital
- Hyperventilation mit Maske bei 6-8 l O_2/min
- 75-1oo mg Succinylcholin
- endotracheale Intubation mit anschließendem sorgfältigen Abdichten der Tubusmanschette.

Wiederholte Injektionen von Pancuronium dienten der Aufrechterhaltung der Muskelrelaxation.

Im Folgenden wurden die Patientinnen mit einem Spiromat 656 Dräger kontrolliert beatmet, wobei die Frischgaszufuhr für 1 bis 2 Minuten 6 l O_2/min betrug bei einer Vorgabe des Atemminutenvolumens von 1oo ml/kg/KG.

In dieser Zeit erfolgte das Anschließen der Meßfühler für N_2O (Anesthetic-gasanalyser R1-5oYM), CO_2 (DATEX CD 1o1 CO_2-Analyser) und Enflurane (Anesthetic-gas-monitor AG 1o1 oder EMMA-Multigasmonitor) sowie der Rückführschläuche.

Das Stellen des Vapors auf 3 Vol % sowie eine

Frischgaszufuhr von 2 l O_2/min und 4 l N_2O/min war bei allen drei Gruppen der Meßbeginn der ersten Stunde. Nach Erreichen des endexspiratorischen (alveolären) Wertes von 1,o Vol % Enflurane wurde durch Veränderung der Vaporeinstellung die Enflurane-Konzentration von 1 Vol % gehalten.

Nach 5 Minuten wurde bei der ersten Gruppe die Frischgaszufuhr von 6 l/min (2 l O_2, 4 l N_2O) beibehalten, bei Gruppe zwei auf 3 l/min (1 l O_2, 2 l N_2O) Frischgaszufuhr übergegangen und bei der dritten Gruppe auf 1 l/min (o,5 l O_2, o,5 l N_2O). Um die endexspiratorische (alveoläre) Enflurane-Konzentration von 1 Vol % nach Umschalten auf Low-Flow zu halten, mußte der Vapor in der Regel 1o bis 2o Minuten mit 4-5 Vol % eingestellt werden.

Das Atemminutenvolumen wurde nach der Anzeige des DATEX CD 1o1 CO_2-Analysers korrigiert. Als Richtgröße diente eine endexspiratorische CO_2-Konzentration von 5,o Vol %. Bei einem Barometerdruck von 76o mmHg entspricht dieses einem p_aCO_2 von etwa 4o mmHg. Dabei wurde ein Atemzugvolumen von mindestens 1o ml/kg/KG eingehalten und bei niedrigem Körpergewicht die Atemfrequenz entsprechend unter 1o gesenkt.

3.2.3 Dokumentation

Alle 5 Minuten wurde die Vaporeinstellung notiert, das Atemminutenvolumen bestimmt, der Blutdruck unblutig nach Riva Rocci gemessen sowie die

Herzfrequenz vom EKG-Monitor und die O_2-Konzentration im Kreissystem vom OXYCOM 1oo D abgelesen.

Die in- und endexspiratorische (alveoläre) Enflurane-Konzentration, die N_2O-Konzentration sowie die CO_2-Konzentration wurde fortlaufend mit dem 4-Kanalschreiber R511A registriert sowie alle 5 Minuten abgelesen und notiert.

Für die erste, zweite und dritte Stunde erfolgte die Enflurane-Verbrauchsmessung in Milliliter. Zu diesem Zweck wurde der Vapor vor Beginn der Narkose entleert und mit einem graduierten Meßbecher 3o ml eingefüllt. Nach Ablauf einer Stunde erneute Entleerung des Vapors. Die Differenz ergab den Enflurane-Verbrauch für die erste Stunde der Narkose. Dieser Vorgang wurde nach der zweiten und dritten Stunde wiederholt.

4. ERGEBNISSE

Die kontinuierliche Aufzeichnung der endexspiratorischen (alveolären) Enflurane-Konzentrationen zeigte ein Erreichen des standardisierten Wertes von 1 Vol % alveolär nach 1 bis 2 Minuten bei einer Vaporeinstellung von 3 Vol %.
Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt eine Originalregistrierung der Konzentrationen für Enflurane, CO_2 und N_2O in der Einleitungsphase bei Low-Flow (1 l/min).

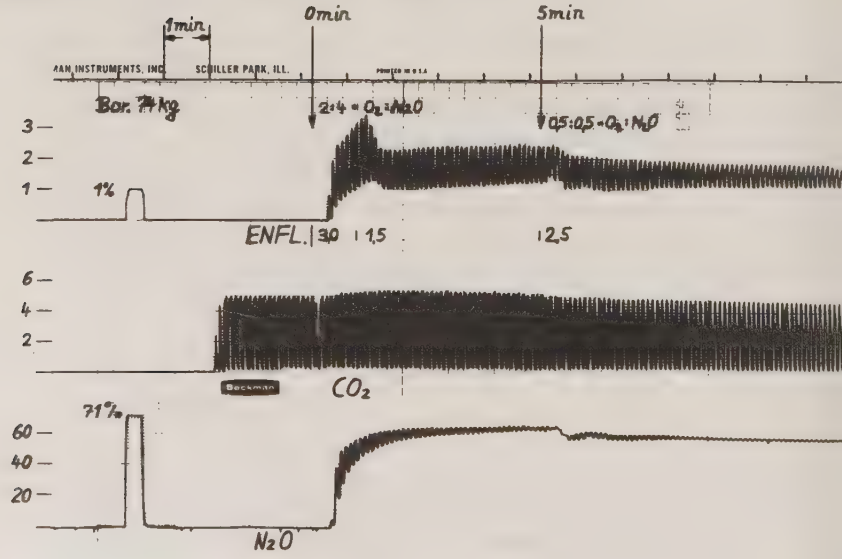


Abb. 1: Originalregistrierung der Einleitungsphase bei Low-Flow (mit Eichung); von oben nach unten: Frischgaszufuhr, Enflurane-Konzentration, Vaporeinstellungen, CO_2-Konzentration, N_2O-Konzentration

Die Narkosetiefe war klinisch ausreichend, es zeigte sich kein Schwitzen, Blutdruck- und Pulsanstieg sowie Bewegungen wie Stirnrunzeln, Schlucken oder Drehen des Kopfes. Auch mußten bei keinem Patienten die standardisierten Bedingungen wegen Blutdruckabfallens geändert oder aufgrund methodenbedingter Komplikationen abgebrochen werden.

Bei Low-Flow (1 l/min) war in der 1o. Minute eine Vaporeinstellung von 2,3 Vol % im Mittel erforderlich; in der 6o. Minute 1,6 Vol %. Die Vaporeinstellungen, die für eine endexspiratorische Enflurane-Konzentration von 1 Vol % erforderlich waren, nahmen in allen Fällen über 6o Minuten kontinuierlich ab.

Bei einer Frischgaszufuhr von 6 l/min bzw. 3 l/min waren 1,2 Vol % bzw. 1,3 Vol % im Mittel nach ca. 2o Minuten der Narkose am Vapor einzustellen.

Die Berechnung des zu erwartenden Enflurane-Verbrauchs ergab für Low-Flow eine Menge von 6 ml/h bei einer durchschnittlichen Vaporeinstellung von 2 Vol %, für eine Frischgaszufuhr von 3 l/min 11,7 ml/h und für 6 l/min Frischgaszufuhr 21,6 ml/h bei durchschnittlichen Vaporeinstellungen von 1,3 Vol % bzw. 1,2 Vol %.

Die Tabellen 1 bis 3 geben den tatsächlich gemessenen Enflurane-Verbrauch in Millilitern für die drei Patientengruppen (1-3) für die erste, zweite und dritte Stunde jedes einzelnen Patienten wieder.

Pat.	t_h / KG	1	2	3
1	67	25,o	23,2	21,8
2	66	19,8	18,5	18,o
3	6o	19,2	18,4	
4	58	2o,4	19,2	2o,o
5	57	21,8	18,8	22,7
6	73	21,3	24,2	21,o
7	49		27,o	
8	48			29,o
9	43	25,o	25,5	28,o
1o	66	29,o	28,8	28,7
11	51	28,7	28,7	
12	52	28,5		
$\bar{x}$		23,9	23,2	23,7

Tab. 1: Enflurane-Verbrauch Gruppe 1 in ml/h bei 6 l Frischgaszufuhr/min (2 l O_2, 4 l N_2O) über 3 h (1-3) bei 12 Patienten und Mittelwerte ($\bar{x}$) für die 1., 2. und 3. Stunde

Pat.	t_h / KG	1	2	3
1	55	1o,5	9,7	9,5
2	75	12,7	11,5	
3	55	22,o	2o,o	19,6
4	68	22,o	17,9	17,o
5	58	19,6	14,4	14,7
6	65	12,o	12,5	
7	57	11,5	1o,5	
8	59	16,5	15,5	14,o
9	53	7,5	7,7	8,8
1o	54	9,5	8,5	9,5
11	65	7,5	1o,4	1o,o
12	5o	15,o	13,o	11,2
13	51	12,o	11,7	9,2
14	55	17,8	15,8	
15	46	16,5	17,6	15,o
16	77	18,8	17,2	16,o
17	9o	13,o	15,o	12,o
18	63	2o,o	17,5	
$\bar{x}$		14,7	13,7	12,8

Tab. 2: Enflurane-Verbrauch Gruppe 2 in ml/h bei 3 l Frischgaszufuhr/min (1 l O_2, 2 l N_2O) über 3 h (1-3) bei 18 Patienten und Mittelwerte ($\bar{x}$) für die 1., 2. und 3. Stunde

Pat.	t_h / KG	1	2	3
1	52	7,o	3,5	
2	68	5,5		
3	59	8,5	9,o	
4	48	7,o	5,5	7,o
5	74	1o,5	5,o	5,o
6	68	11,o	8,5	
7	64		3,5	5,o
8	63	7,2	4,5	
9	57	9,7	5,o	5,o
1o	6o	8,7	6,5	
11	65	9,6	8,5	8,2
12	58	11,o	7,o	8,o
13	75	8,5	5,8	6,2
14	55	7,3	6,8	1o,o
15	6o	7,6	6,o	
16	63			6,o
17	64	12,o	11,o	
18	62	12,5	12,5	
19	55	11,o		
2o	65	12,7	12,o	12,2
$\bar{x}$		9,1	6,8	6,7

Tab. 3: Enflurane-Verbrauch Gruppe 3 in ml/h bei Low-Flow (o,5 l O_2, o,5 l N_2O) über 3 h (1-3) bei 2o Patienten und Mittelwerte ($\bar{x}$) für die 1., 2. und 3. Stunde

Die folgende Abbildung 2 zeigt die Mittelwerte des Enflurane-Verbrauchs für jede Narkosestunde für alle drei Gruppen.

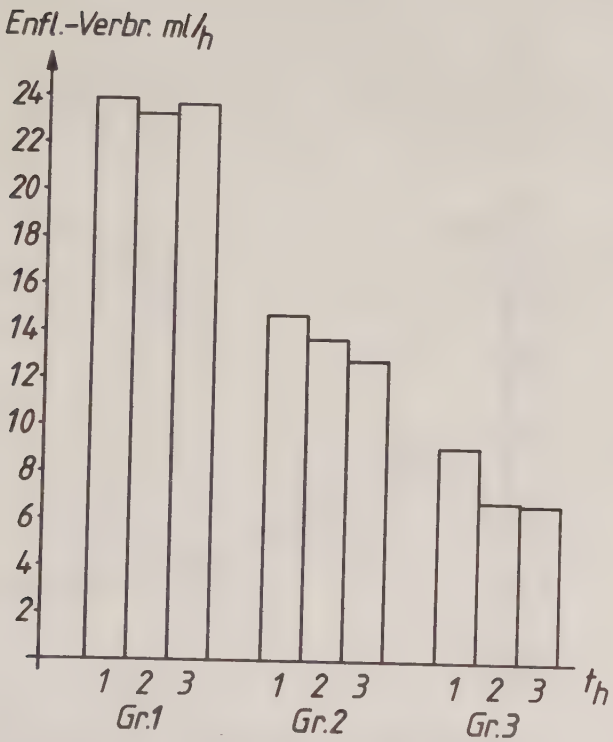


Abb. 2: gemittelter Enflurane-Verbrauch geordnet nach der Frischgaszufuhr: Gruppe 1 (6 l/min), Gruppe 2 (3 l/min), Gruppe 3 (1 l/min) für jede Narkosestunde (1-3)

Der Vapor konnte 2o bis 4o Minuten vor Operationsende bei Low-Flow völlig abgestellt werden, während die Patienten den chirurgischen Reiz weiter tolerierten. Die endexspiratorischen Enflurane-Konzentrationen nahmen in den ersten 5 Minuten nach Abschalten des Vapors auf $\bar{x}$ = o,73 Vol % ab; der Mittelwert lag in der 3o. Minute bei o,36 Vol %.

Die folgende Abbildung 3 zeigt die gemittelten endexspiratorischen (alveolären) Enflurane-Konzentrationen nach Abschalten des Vapors von der 5. bis zur 3o. Minute bei einer Frischgaszufuhr von 1 l/min (Low-Flow).

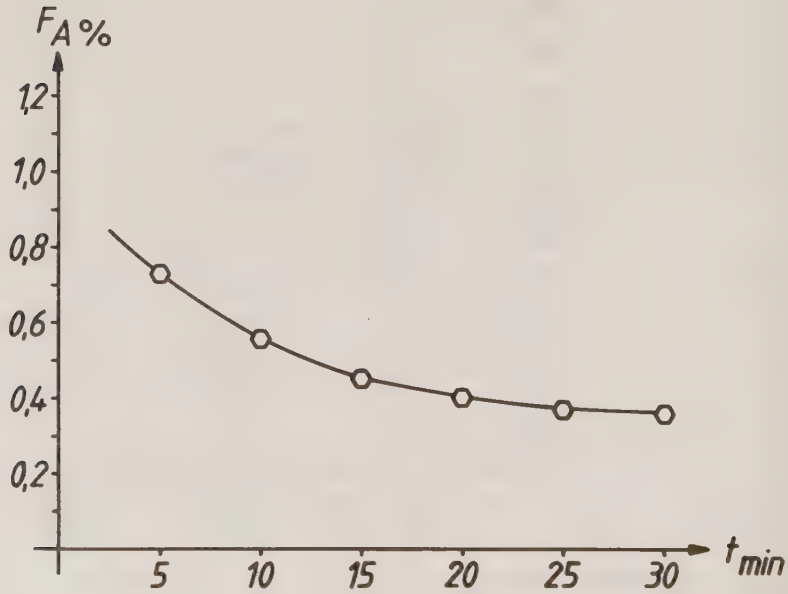


Abb. 3: gemittelte endexspiratorische (alveoläre) Enflurane-Konzentrationen (F_A %) in Abhängigkeit von der Zeit (5 bis 3o min nach Abschalten des Vapors) bei einer Frischgaszufuhr von 1 l/min (Low-Flow) n = 19

Die inspiratorischen O_2-Konzentrationen stiegen bei Low-Flow (o,5 l O_2/min, o,5 l N_2O/min) von der 1o. bis 2o. Minute an, um nach Erreichen des Maximums ($\bar{x}$ = 42,4 Vol %) kontinuierlich abzufallen. Der Mittelwert der 18o. Minute wurde mit 35,4 Vol % berechnet; der niedrigste Einzelwert lag bei 31 Vol %.

Der Durchschnitt der Mittelwerte im Low-Flow-System (o,5 l O_2/min, o,5 l N_2O/min) lag bei 39,7 Vol %, bei einer Frischgaszufuhr von 6 l/min (2 l O_2, 4 l N_2O) betrug dieser 32,6 Vol %, der entsprechende Wert bei 3 l/min (1 l O_2, 2 l N_2O) Frischgaszufuhr war 3o,6 Vol %.

Im High-Flow-System (6 l/min und 3 l/min) fielen die inspiratorischen O_2-Konzentrationen von der 1o. bis zur 18o. Minute im Mittel um 1,9 Vol % bzw. 2,6 Vol % ab.

Die folgenden drei Abbildungen (4, 5 und 6) zeigen die Einzelwerte der inspiratorischen O_2-Konzentrationen im Kreissystem über die Zeit t (1o-18o min) für alle drei Gruppen und deren Mittelwertsgraphen.

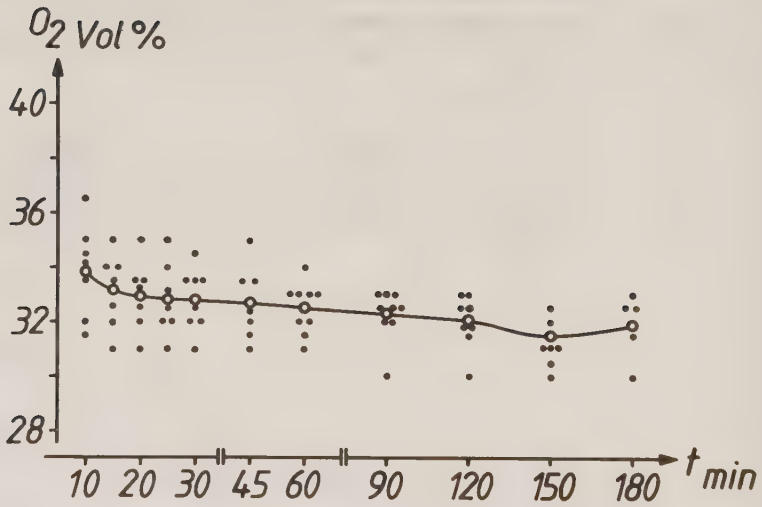


Abb. 4: Mittelwertsgraph und Einzelwerte der inspiratorischen O_2-Konzentrationen in Vol % im Kreissystem bei einer Frischgaszufuhr von 2 l O_2/min und 4 l N_2O/min (Gruppe 1) über die Zeit t (1o-18o min) n = 1o

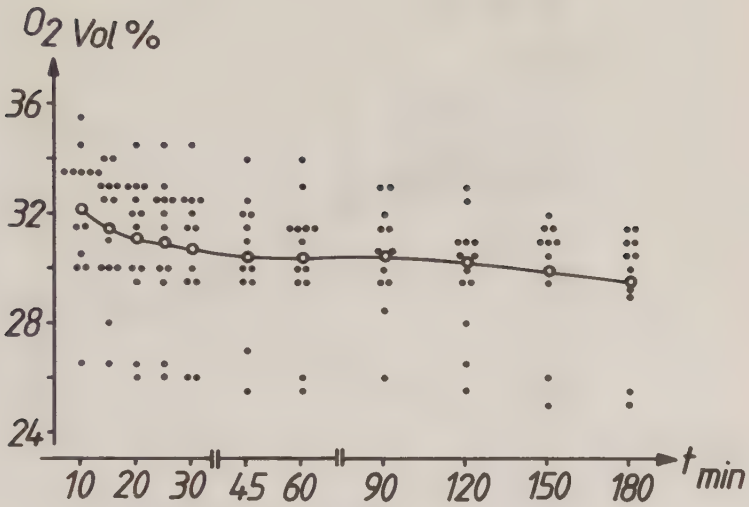


Abb. 5: Mittelwertsgraph und Einzelwerte der inspiratorischen O_2-Konzentrationen in Vol % im Kreissystem bei einer Frischgaszufuhr von 1 l O_2/min und 2 l N_2O/min (Gruppe 2) über die Zeit t (1o-18o min) n = 13

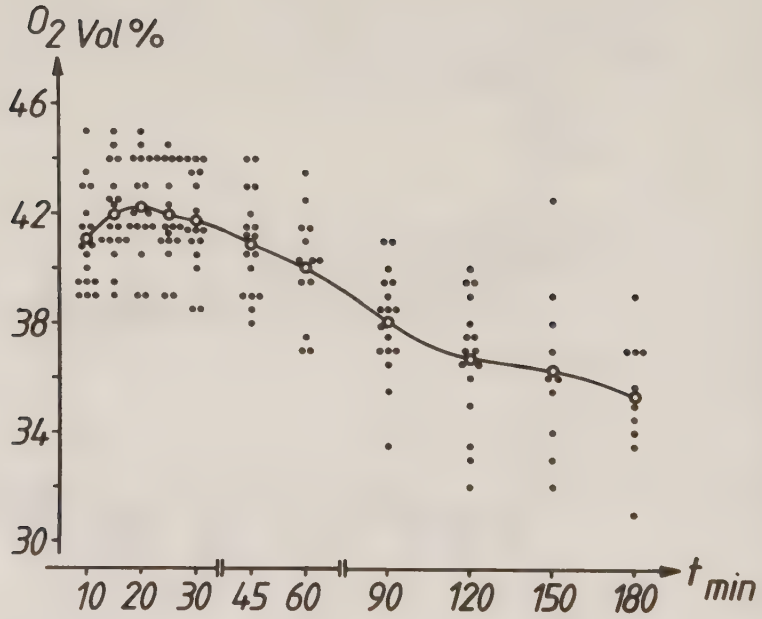


Abb. 6: Mittelwertsgraph und Einzelwerte der inspiratorischen O_2-Konzentrationen in Vol % im Kreissystem bei einer Frischgaszufuhr von o,5 l O_2/min und o,5 l N_2O/min (Gruppe 3) über die Zeit t (1o-18o min) n = 2o

Die Abbildung 7 zeigt die Mittelwertsgraphen der inspiratorischen O_2-Konzentrationen im Kreissystem für alle drei Gruppen.

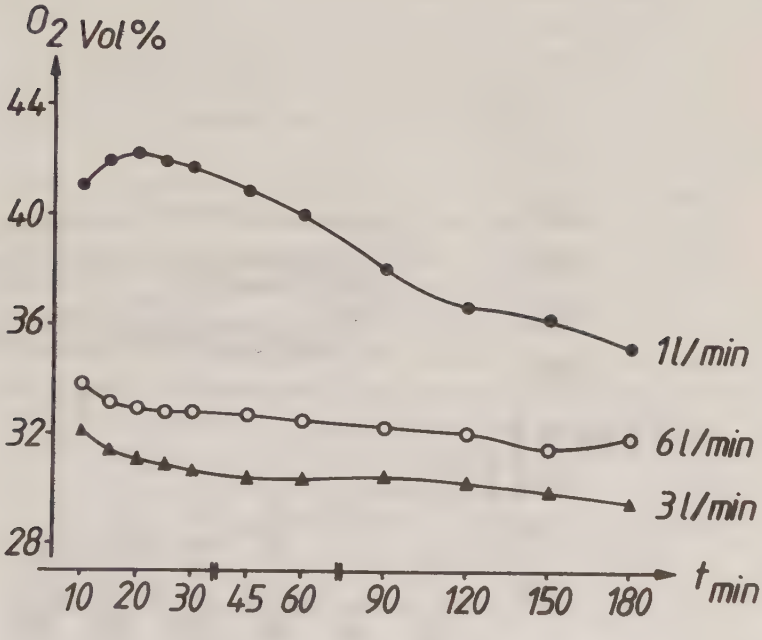


Abb. 7: Mittelwertsgraphen der inspiratorischen O_2-Konzentrationen in Vol % im Kreissystem für alle drei Gruppen (6 l/min, 3 l/min, 1 l/min) über die Zeit t (1o-18o min)

Die Bestimmung der arteriellen Sauerstoffpartialdrucke p_aO_2 unter Narkose in Low-Flow-Technik (o,5 l O_2/min, o,5 l N_2O/min) bei einer endexspiratorischen CO_2-Konzentration von 5,o Vol % (± o,5) zeigt Abbildung 8 (oben).

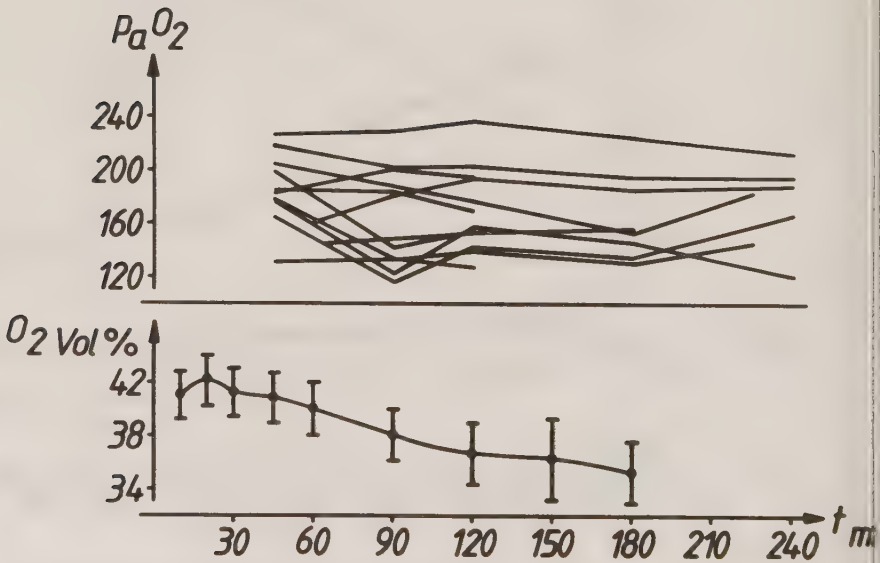


Abb. 8: oben : Verhalten des p_aO_2 in mmHg (n = 12)

unten: Mittelwertsgraph der inspiratorischen O_2-Konzentrationen in Vol % mit Standardabweichungen im Kreissystem bei Low-Flow (o,5 l O_2/min, o,5 l N_2O/min) über die Zeit t
(Einzelwerte siehe Abb. 6)

5. DISKUSSION

Downing et al (1977) hat den Verbrauch von Enflurane beim Magill System (7o ml/kg/min Frischgaszufuhr; ohne CO_2-Absorber) und beim geschlossenen System (o,5 l O_2/min, o,5 l N_2O/min) bei Augenoperationen mit Spontanatmung gemessen; danach beläuft sich der Verbrauch beim Magill System auf 42,5 ml/h, beim geschlossenen System auf 19,o ml/h.

Die Ergebnisse der eigenen Untersuchung zeigen ebenfalls den niedrigen Verbrauch von Enflurane bei Verwendung des geschlossenen Systems. Der Verbrauch bei Low-Flow (1 l/min) beträgt im Mittel 7,5 ml/h im Gegensatz zu 23,6 ml/h bei einer Frischgaszufuhr von 6 l/min und 13,7 ml/h bei 3 l/min; d.h. ca. ein Drittel der Menge einer Frischgaszufuhr von 6 l/min und ca. die Hälfte der Menge einer Frischgaszufuhr von 3 l/min. Somit kann mit dem Einstundenverbrauch im halbgeschlossenen System (6 l/min) eine Narkose im Low-Flow über 3 Stunden durchgeführt werden; der Einstundenverbrauch bei 3 l/min ergibt ca. 2 Stunden Narkosedauer im Low-Flow.

Die erhebliche Differenz zwischen Downings et al (1977) gemessenem Verbrauch von 19,o ml/h und dem bei dieser Untersuchung gemessenen Verbrauch von 7,5 ml/h im Mittel beruht m.E. auf methodologischen Unterschieden. Bei Downing et al (1977) erfolgte der Übergang auf 1 l/min (Low-Flow) Frischgaszufuhr nach 15 Minuten; bei dieser Untersuchung bereits nach 5 Minuten. Darüberhinaus muß angenommen

werden, daß die Narkosen bei Downing et al (1977) in beiden Gruppen (Magill und geschlossenes System) sehr viel tiefer waren.

Auffallend bei der eigenen Untersuchung ist, daß der Enflurane-Verbrauch bei einer Frischgaszufuhr von 6 l/min (Gruppe 1) für die 1. bis 3. Stunde konstant bleibt (siehe Abb. 2). Bei Gruppe 2 und 3 nimmt dagegen, wie Abb. 2 zeigt, der Verbrauch von der 1. bis zur 3. Stunde ab; diese Abnahme ist bei Gruppe 3 von der 1. bis zur 2. Stunde (2,3 ml) bedeutsamer als bei Gruppe 2 (1,o ml).

Die Tabellen 1-3 enthalten grundsätzlich nur Verbrauchsmessungen, wenn über eine volle Stunde die alveoläre Konzentration 1,o Vol % (± o,o5) betrug, so daß ein objektiver Vergleich möglich ist. In der klinischen Praxis sind im Einzelfall höhere bzw. tiefere alveoläre Konzentrationen (de Jong et al 1975) erforderlich; dieses zeigten auch eigene Narkosen in Low-Flow-Technik in der Orthopädischen Klinik. Bei diesen Operationen war jedoch häufig eine alveoläre Konzentration von 1,2 bis 1,4 Vol % nötig. Im Gegensatz zu der vorliegenden Arbeit wurden dort keine Muskelrelaxantien (Pancuronium) verwendet.

Eine Berechnung des zu erwartenden Verbrauchs ergab für Low-Flow (1 l/min) eine Menge von 6,o ml/h für die erste Narkosestunde im Gegensatz zu einem tatsächlich gefundenen Verbrauch von 9,1 ml/h. Hierbei wurde eine durchschnittliche Vaporeinstellung von 2,o Vol % angenommen. Für eine Frischgaszufuhr von 6 l/min bzw. 3 l/min lag unter Berücksichtigung

einer Vaporeinstellung von 1,2 Vol % bzw. 1,3 Vol % der tatsächliche Verbrauch für die erste Stunde der Narkose um je 2 ml höher als der kalkulierte Wert.

Diese Diskrepanz zwischen gefundener und kalkulierter Menge ist durch den höheren Bedarf in der Anflutungsphase (1o. - 2o. min) und die Absorption an die Reptilschläuche des Beatmungssystems sowie des Atemkalks erklärbar.

Wenn man weiter berücksichtigt, daß der Vapor bei Low-Flow 2o bis 4o Minuten vor Narkoseende völlig abgestellt werden kann, ist die Ersparnis an Enflurane noch größer. Bei High-Flow ist dagegen in der Ausleitungsphase eine Vaporeinstellung von o,4-o,6 Vol % erforderlich und erst wenige Minuten vor Operationsende ein Abstellen des Vapors möglich.

Ein schnelles Beenden der Narkose mittels hoher Frischgaszufuhr war zu jeder Zeit möglich und machte keine Schwierigkeiten.

Die Berechnung der Kosten (O_2, N_2O und Enflurane) ergab für die erste Stunde der Narkose bei Low-Flow einen Preis von DM 5,29, für die zweite Stunde DM 3,92, für die dritte Stunde DM 3,88. Für eine Frischgaszufuhr von 6 l/min lag der Preis für eine Narkosestunde im Mittel bei DM 15,57; bei einer Frischgaszufuhr von 3 l/min im Mittel bei DM 8,71.

Der Kalkulation wurden folgende Großhandelspreise ohne Mehrwertsteuer zugrunde gelegt:

280 ml	Enflurane	DM 126,72
50 l	Sauerstoff	DM 0,79
30 kg	N_2O	DM 190,50
5 kg	Atemkalk	DM 24,--

Danach ist das Low-Flow-System (1 l/min) mit ca. 28 % der Kosten des halbgeschlossenen Systems (6 l/min) zu betreiben.

In jüngster Zeit wurde die Ökonomie des geschlossenen Systems mit dem Hinweis auf den höheren Absorberkalkverbrauch angezweifelt. Nach Edsall (1981) wird im geschlossenen System gegenüber dem halbgeschlossenen 4 mal soviel Atemkalk verbraucht.

Beim geschlossenen System erfolgt aufgrund der hohen Rückatmung eine 100 %-ige CO_2-Absorption; dagegen wird beim halbgeschlossenen System ein großer Teil des Exspirationsgemischs, und somit auch Kohlendioxyd, bevor es durch den Atemkalk gelangt, eliminiert.

Nach Jorgensen et al (1973) ist die Absorption von Kohlendioxyd bei Verwendung von nur einem Atemkalkkanister (600-700 g) bei einer Frischgaszufuhr von 2 l/min über 5 Stunden vollständig. Unter Berücksichtigung dieser Angaben ergab die Berechnung der Kosten für Atemkalk bei Low-Flow (1 l/min) für eine Stunde einen Preis von DM 1,34; bei 6 l/min Frischgaszufuhr DM 0,22 sowie bei 3 l/min DM 0,45. Im Gegensatz zu 6 l/min Frischgaszufuhr entstehen demnach bei Low-Flow unter optimaler Ausnutzung des Atemkalks pro Stunde Mehrkosten in Höhe von DM 1,12.

Diese Berechnung enthält die Benutzung von Doppelabsorbern (Kappesser 1953), so daß immer zwei hintereinandergeschaltete Absorber gleichzeitig in Betrieb sind. Der nachgeschaltete Absorber nimmt seine Funktion auf, sobald der erste durchlässig ist, d.h. kein CO_2 mehr absorbieren kann. Der verbrauchte Kanister wird eliminiert und ein neuer auf den nun im Betrieb befindlichen gesetzt. Mit dieser Methode läßt sich die Ökonomie des Atemkalks erheblich erhöhen (Oehmig 1955).

Auch unter Berücksichtigung der Mehrkosten für Atemkalk beträgt die Kosteneinsparung gegenüber dem halbgeschlossenen System (6 l/min) immer noch 64 % statt 72 %; darüberhinaus ist zu jeder Zeit der Narkose eine vollständige Absorption von CO_2 gewährleistet.

Der durchschnittliche Mittelwert der inspiratorischen O_2-Konzentrationen im Kreissystem bei Low-Flow (o,5 l O_2/min, o,5 l N_2O/min) betrug bei dieser Untersuchung 39,7 Vol %. Forbes (1972) hat bei seinen Messungen einen Mittelwert von 4o,8 Vol % angegeben; Schillig et al (1973) dagegen von 34 Vol %. Aus den genannten Untersuchungen geht nicht hervor, zu welchen Zeitpunkten die Messungen durchgeführt wurden.

Die Höhe der O_2-Konzentration im Kreissystem ist bei einer Frischgaszufuhr von Sauerstoff und Lachgas von der Narkosedauer abhängig, insbesondere bei Low-Flow (siehe Abb. 4-7). Die O_2-Konzentrationen nahmen in Low-Flow bis zur 2o. Minute geringfügig zu, da in der 5. Minute der Sauerstoffanteil in der Frischgaszufuhr von 33 % auf 5o % erhöht wurde, um

dann kontinuierlich abzufallen.

Im geschlossenen System steigt die Wasserdampfsättigung schneller und stärker an als im halbgeschlossenen System. Hierdurch entsteht auf der Sensormembran des OXYCOMS 1oo D ein Wasserkondensat, das die Sauerstoffdiffusion behindert, so daß mit fortlaufender ununterbrochener Einsatzzeit des OXYCOMS 1oo D die gemessenen O_2-Werte apparatebedingt niedriger werden (Spieß 1977).

Der stärkere Abfall der O_2-Konzentrationen im Low-Flow gegenüber dem halbgeschlossenen System ist ferner darauf zurückzuführen, daß der Sauerstoffverbrauch konstant ist, die N_2O-Aufnahme aber exponentiell abnimmt (Severinghaus (1954): N_2O-Aufnahme = 1ooo $t^{1/2}$ ml/min) und in der 6o. Minute ca. 15o ml (Spieß 1977) beträgt. Die Zufuhr von 5oo ml/min N_2O ist demnach über die gesamte Narkosedauer zu groß, so daß es zu einer Anhäufung von N_2O im Kreissystem kommt und somit zum kontinuierlichen Abfall der O_2-Konzentrationen (siehe Abb. 6 und 7).

Bei einer Frischgaszufuhr von über 6 l/min ist praktisch keine Rückatmung mehr vorhanden; O_2-Konzentrationen im Frischgasgemisch und die inspiratorischen O_2-Konzentrationen im Kreissystem stimmen überein. Die inspiratorischen O_2-Konzentrationen im Kreissystem nehmen bei Reduzierung der Frischgaszufuhr trotz gleichbleibender Zusammensetzung von O_2/N_2O (siehe Abb. 4, 5 und 7) ab. Ein kritischer Wert wird bei einer Frischgaszufuhr von 1 l O_2/min und 3 l/min N_2O erreicht. Nach Schillig et al (1973) liegt die

O_2-Konzentration im Kreissystem dann bei 21 Vol % (± o,3), wobei die Meßzeitpunkte nicht spezifiziert sind.

Blutgasanalytische Bestimmungen von Pichlmayr (1977) bei 18 Patienten mit einem Altersdurchschnitt von 54 Jahren zeigen jedoch auch bei einer Frischgaszufuhr von 1 l O_2/min und 3 l N_2O/min bei Normoventilationsbeatmung nach dem Nomogramm von Engström mit dem Narkosespiromat 65o Dräger und einem Inspirations-Exspirationsverhältnis von 1:1,5 einen p_aO_2, der 33 bis 55 mmHg über dem Ausgangswert liegt.

Um zu prüfen, ob die inspiratorischen O_2-Konzentrationen im Kreissystem bei Low-Flow (o,5 l O_2/min, o,5 l N_2O/min) ausreichend hohe arterielle Sauerstoffpartialdrucke ergeben, wurden bei 12 Patienten im Durchschnittsalter von 34 Jahren zu bestimmten Zeitpunkten der Narkose arterielle Blutgasanalysen durchgeführt. Die Ergebnisse sind Abb. 8 zu entnehmen; sie zeigen, daß bei Low-Flow (o,5 l/min O_2, o,5 l/min N_2O) trotz der Abnahme der O_2-Konzentrationen im Kreissystem bei gesunden jungen Patienten eine genügend hohe inspiratorische O_2-Konzentration vorhanden ist.

Unter der Voraussetzung, daß die Rotameter für O_2 und N_2O genügend genau sind, ist bei Routinenarkosen ein O_2-Monitoring im Kreissystem nicht unbedingt notwendig; bei Verminderung des O_2-Anteils zum Ausnutzen der maximalen analgetischen Wirkung von Lachgas muß auch beim Lungengesunden ein O_2-Monitor benutzt werden.

Ein Monitor zur Messung der Enflurane-Konzentrationen

(z.B. EMMA-Multigasmonitor) muß zur Einarbeitung in das geschlossene System in jedem Fall empfohlen werden; für den Erfahrenen ist er nicht unbedingt erforderlich.

Die Anschaffungskosten für einen EMMA-Multigasmonitor in Höhe von ca. DM 4.950,-- haben sich nach Umstellung von High-Flow (6 l/min) auf Low-Flow (1 l/min) nach 484 Narkosestunden, d.h. nach 3-4 Monaten bei täglich 7-stündiger Einsatzzeit und Fünf-Tage-Woche amortisiert.

In der Literatur wird ferner das geschlossene System im Gegensatz zum halbgeschlossenen System von den meisten Autoren für umweltfreundlicher und für nicht so gesundheitsschädlich gehalten.

Cohen et al (1974) erörterten in einer epidemiologischen Studie, daß eine erhöhte Abortenhäufigkeit bei weiblichem Operations-Personal in Zusammenhang mit dem Vorhandensein von Spuren gesundheitsschädlicher Gase und Dämpfe im Operationssaal gebracht werden muß.

Die Toxizität von N_2O wurde von Corbett et al (1973) für subanaesthetische Konzentrationen tierexperimentell nachgewiesen. Bei Kindern von Narkoseschwestern fand Corbett et al (1974) eine statistisch signifikant größere Zahl kongenitaler Anomalien im Vergleich zu Kindern der Mütter, die während der Schwangerschaft nicht gearbeitet hatten ($p < 0{,}005$).

Ferstandig (1978) und Dudziak (1981) - in seinem Gutachten für die Deutsche Gesellschaft für Anaesthesiologie und Intensivmedizin (DGAI) - halten dagegen nach dem heutigen Stand der Literatur den Beweis für einen Kausalzusammenhang zwischen Narkosegasen und Spontanaborten sowie Gesundheitsschädigungen für nicht gegeben.

Nach Kreuscher (1977) befinden sich in einem Kreis von 2 Metern um den Narkoseapparat besonders hohe Gas-Konzentrationen. Sie sind abhängig von der Größe des Frischgasvolumens, der Art des verwendeten Narkosesystems, der Dauer der Narkose, der Raumgröße und der Raumventilation. In gut ventilierten Operationsräumen ergaben seine Messungen im Mittel Konzentrationen von 130 ppm für Stickoxydul.

Um gasförmige und volatile Anaesthetika dem Operationssaalmilieu nur in geringen Mengen zuzuführen und bei Kontamination sorgfältig zu entziehen, muß als Konsequenz die Benutzung des geschlossenen Systems und die Einrichtung suffizienter Absaugeinrichtungen zur Anwendung kommen. Die hilfsweise verwendeten Narkosefilter stellen keine befriedigende Lösung dar, da sie N_2O durchlassen und oft nicht rechtzeitig gewechselt werden. Nach Langrehr et al (1973) sollten Narkosefilter nur an solchen Arbeitsplätzen zum Einsatz kommen, wenn fakultativ oder temporär Anaesthesien durchgeführt werden.

Als Fazit kann demnach aus dieser Untersuchung festgestellt werden, daß das Low-Flow-System (1 l/min) eine ökonomisch und ökologisch günstige Narkosetechnik ist.

6. LITERATURVERZEICHNIS

COHEN, E.N., BROWN, B.W., BRUCE, D.L., CASCORBI, H.F., CORBETT, T.H., JONES, T.W., WHITCHER, C.E.,
Occupational disease among operating room personnel: A national study.
Anesthesiology 1974, 41, 321-340

CORBETT, T.H., CORNELL, R.G., ENDRES, J.L., MILLARD, R.I.,
Effects of low concentrations of nitrous oxide on rat pregnancy.
Anesthesiology 1973, 39, 299-301

CORBETT, T.H., CORNELL, R.G., ENDRES, J.L., LIEDING, K.,
Birth defects among children of nurse-anesthetists.
Anesthesiology 1974, 41, 341-344

DE JONG, R.H., EGER, E.I.,
MAC Expanded: AD_{50} and AD_{95} values of common inhalation anesthetics in man.
Anesthesiology 1975, 42, 384-389

DOWNING, J.W., BROCK-UTNE, J.G.,
"Closed"-Circuit (rebreathing) Enflurane anaesthesia.
South African Medical Journal 1977, 52, 514-517

DUDZIAK, R.,
Nebenwirkungen von flüchtigen Anästhetika auf das Anästhesiepersonal unter besonderer Berücksichtigung des Mutterschutzgesetzes.
Anästhesiologie und Intensivmedizin 4/1981, 81-92

EDSALL, D.W.,
Economy is not a major benefit of closed-system anesthesia.
Anesthesiology 1981, 54, 258

FERSTANDIG, L.L.,
Trace concentrations of anesthetic gases: A critical review of their disease potential.
Anesth. Analg. 1978, 57, 328-345

FORBES, A.R.,
Inspired oxygen concentrations in semiclosed circle absorber circuits with low flows of nitrous oxide and oxygen.
Brit. J. Anaesth. 1972, 44, 1081-1084

GION, H., SAIDMANN, L.J.,
The minimum alveolar concentration of enflurane in man.
Anesthesiology 1971, 35, 361-364

JORGENSEN, B., JORGENSEN, S.,
Carbon dioxide elimination from circle systems.
Acta anaesth. scand. 1973, 53, 86-93

KAPPESSER, R.C.,
Modification of double canister circle filter.
Anesthesiology 1953, 14, 415-416

KREUSCHER, H.,
Gesundheitsrisiko für das Anästhesie- und Operationspersonal.
Deutsches Ärzteblatt 74, 1977, 446-450

LANGREHR, D., RIECKEN, I.,
Zur Frage der Adsorptionskapazität von Narkoticafiltern für Halothane.
Anaesthesist 1973, 22, 72-73

LIN, C.Y., MOSTERT, J.W.,
Inspired O_2 and N_2O concentration in essentially closed circuits.
Anaesthesist 1977, 26, 514-517

LIN, C.Y., MOSTERT, J.W., BENSON, D.W.,
Closed circle systems a new direction in the practice of anesthesia.
Acta anaesth. scand. 1980, 24, 354-361

MOSTERT, J.W., GOLDBERG, I.S., LANZL, E.F., LOWE, H.J.,
Das geschlossene System.
Anaesthesist 1977, 26, 495-502

OEHMIG, H.,
Über eine Methode, Atemkalk einzusparen.
Anaesthesist 1955, 4, 45-46

PICHLMAYR, I.,
Blutgasanalytische Untersuchungen zur Beatmungseffektivität des Narkosespiromat 650 (Dräger).
Anaesthesist 1977, 26, 94-97

SCHILLIG, R., WEIS, K.H.,
Zur Sauerstoffkonzentration im Narkosekreissystem
I. Mitteilung: Abhängigkeit vom Frischgasstrom.
Anaesthesist 1973, 22, 198-201

SEVERINGHAUS, J.W.,
The rate of uptake of nitrous oxide in man.
J. clin. Investigation 1954, 33, 1183-1189

SHARP, J.H., TRUDELL, J.R., COHEN, E.N.,
Volatile metabolites and decomposition products of Halothane in man.
Anesthesiology 1979, 50, 2-8

SPIESS, W.,
Narkose im geschlossenen System mit kontinuierlicher inspiratorischer Sauerstoffmessung.
Anaesthesist 1977, 26, 503-513

VIRTUE, R.W.,
Minimal-flow nitrous oxide anesthesia.
Anesthesiology 1974, 40, 196-198

VIRTUE, R.W.,
Low flow anesthesia: Advantages in its clinical application, cost and ecology.
In: ALDRETE, J.A., LOWE, H.J., VIRTUE, R.W. (Hsg.),
Low Flow and Closed System Anesthesia
New York, San Francisco, London: Grune & Stratton
1979, 103-108

WEAVER, R.H., VIRTUE, R.W.,
Blood oxygenation as affected by tidal volume and tension of nitrous oxide-oxygen inhaled at one mile altitude.
Anesthesiology 1955, 16, 57-66

Lebenslauf

Gerhard J. Merten, geboren am 27.08.1949 in Bielefeld als Sohn der Eheleute Josef und Hedwig Merten.

11.12.1973 Zeugnis der Reife am Westfalen Kolleg in Bielefeld.

1974 bis 1979 Medizinstudium an der Westfälischen Wilhelms-Universität in Münster.

1979 bis 1980 Praktisches Jahr an den Krankenanstalten Sarepta in Bielefeld.

29.04.1980 Ablegung des Staatsexamens.

Seit dem 27.05.1980 wissenschaftlicher Assistent am Institut für Anaesthesiologie der Universität Düsseldorf.